

**PENGARUH MATERIAL PENGISI (*FILLER*) DAN LEBAR
CELAH PADA SAMBUNGAN *BRAZING* TERHADAP
KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO**



**Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Program Studi
Strata Satu Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :
RIZHA ARIANTO DWI NUGROHO
D200130172

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH MATERIAL PENGISI (*FILLER*) DAN LEBAR CELAH
PADA SAMBUNGAN *BRAZING* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN
STRUKTUR MIKRO**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

RIZHA ARIANTO DWI NUGROHO

D200130172

Telah diperiksa dan disetujui untuk di uji oleh :

Dosen Pembimbing



Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH MATERIAL PENGISI (*FILLER*) DAN LEBAR CELAH PADA SAMBUNGAN *BRAZING* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

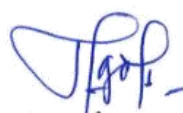


Oleh :

RIZHA ARIANTO DWI NUGROHO

D200130172

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Jum'at, 2 November 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan penguji :

1. Agus Dwi Anggono, ST,M.Eng, Ph.D. ()
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Tri Tjahjono, MT. ()
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Agung Setyo Darmawan, MT. ()
(Anggota II Dewan Penguji)



I. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D
NIK.682

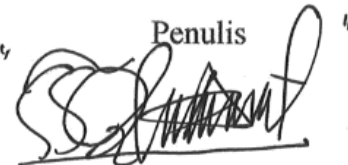
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta,

Penulis



Rizha Arianto Dwi Nugroho

D200130172

PENGARUH MATERIAL PENGISI (*FILLER*) DAN LEBAR CELAH PADA SAMBUNGAN *BRAZING* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang konstruksi, membuat kebutuhan pengelasan semakin dibutuhkan. Sehingga brazing menjadi salah satu alternatif proses penyambungan bagi logam yang mempunyai sifat mampu las rendah karena pencairan hanya terjadi pada logam pengisi (filler). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh filler alusol tipe lembut dan filler lokal dengan variasi jarak (gap) dengan menggunakan sambungan lap joint pada material aluminium. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk proses pengujian ini adalah uji sem dan edx, uji foto makro dan mikro, dan uji tarik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi kimia filler alusol tipe lembut mengandung komposisi Karbon (C) 26,02%, Alumina (Al_2O_3) 4,51%, Zink Oksida (ZnO) 68,07%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,40%. Untuk filler alusol tipe lembut (fluks) mengandung komposisi Karbon (C) 15,88%, Alumina (Al_2O_3) 2,99%, Zink Oksida (ZnO) 79,86%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,27%. Sedangkan untuk material filler lokal mengandung komposisi Karbon (C) 22,43%, Alumina (Al_2O_3) 63,03%, Silika Oksida (SiO_2) 12,50%, Klorida (Cl) 0,21%, Kalium Oksida (K_2O) 0,16%, Kalsium Oksida (CaO) 0,17%, Besi (II) Oksida (FeO) 0,77%, dan Tembaga (II) Oksida (CuO) 0,75%. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada filler alusol tipe lembut dengan gap 0,2 mm dengan nilai 80,087 N/mm dan kekuatan tarik terendah pada filler lokal dengan gap 0,2 mm dengan nilai 58,174 N/mm. Terjadinya reaksi kapilaritas dan cacat pada sambungan mempengaruhi kekuatan tarik. Reaksi kapilaritas paling baik terjadi pada jarak (gap) 0,2 mm dengan filler alusol tipe lembut.

Kata Kunci : filler alusol tipe lembut, filler lokal, gap, lap joint, brazing.

ABSTRACT

Technological developments in the construction field are progressing, both in assembly and maintenance. As technology advances in the field of construction, making welding needs increasingly needed. So that brazing is one of the alternative picking processes for metals that have low weldability because melting occurs only in filler metals. The purpose of this study was to determine the effect of soft type alusol filler and local filler with variations of gap (gap) by using a lap joint connection on aluminum material. In this study the methods used for this testing process are sem and edx tests, tensile tests, and macro and micro photo tests. The test results show that the chemical composition of soft type alusol filler

contains the composition of Carbon (C) 26.02%, Alumina (Al₂O₃) 4.51%, Zink Oxide (ZnO) 68.07%, and Cesium Oxide (Cs₂O) 1.40 %. For soft type alusol filler (flux) contains several compositions namely Carbon (C) 15.88%, Alumina (Al₂O₃) 2.99%, Zink Oxide (ZnO) 79.86%, and Cesium Oxide (Cs₂O) 1.27% . Whereas for local filler material contains the composition of Carbon (C) 22.43%, Alumina (Al₂O₃) 63.03%, Silica Oxide (SiO₂) 12.50%, Chloride (Cl) 0.21%, Potassium Oxide (K₂O) 0 , 16%, Calcium Oxide (Cao) 0.17%, Iron (II) Oxide (FeO) 0.77%, and Copper (II) Oxide (CuO) 0.75%. The highest tensile strength occurs in soft type alusol filler with a gap of 0.2 mm with a value of 80,087 N/mm and the lowest tensile strength in the local filler with a gap of 0.2 mm with a value of 58,174 N/mm. The occurrence of a capillary reaction and defects in the connection affect the strength Pull. The capillary reaction is best at 0.2 mm gap with a soft type alusol filler.

Keywords: *Alusol Filler Soft Type, Local Filler, Gap, Lap Joint, Brazing.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang konstruksi, membuat kebutuhan pengelasan semakin dibutuhkan. Semakin luas penggunaan las mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Menurut Wiryosumarto, H. dan T. Okumora (2000), aplikasi penggunaan las antara lain pada bidang perkapalan, otomotif, konstruksi jembatan, kendaraan rel, rangka baja, dan sebagainya.

Teknologi pengelasan sendiri terbagi dalam beberapa jenis, salah satunya adalah las *brazing* . Las *brazing* sebuah proses penyambungan logam (komponen) menggunakan tehnik pengikat (*Bonding*) dari bahan tambah yang memiliki temperatur cair lebi rendah dari temperatur cair bahan induknya. Proses *brazing* merupakan teknologi las yang banyak digunakan dalam industri untuk penyambungan material yang berbentuk pipa, lembaran atau pelat.

Brazing menjadi salah satu alternatif proses penyambungan bagi logam-logam yang mempunyai sifat mampu las rendah karena pencairan hanya terjadi pada logam pengisi saja. Logam pengisi (*filler*) yang berbentuk batang kawat sudah umum dipakai oleh para juru las, tetapi mempunyai keterbatasan karena daerah yang tersambung hanya bagian tertentu saja. Agar daerah yang akan disambung dapat seluruhnya tersambung, maka bentuk logam pengisi haruslah berbentuk batang kawat. Saat ini logam pengisi berbentuk lembaran mulai digunakan karena dapat mengisi seluruh daerah yang akan disambung. Untuk membentuk sambungan, maka logam pengisi tersebut harus mampu membasahi logam induk. Pembasahan akan lebih sempurna jika temperaturnya lebih tinggi dan waktu tahannya lebih lama. Logam induk memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Seperti halnya aksi kapiler pada logam induk, penetrasi akan terjadi dengan baik apabila logam memiliki daya kapiler yang baik maka dapat melekat dengan baik. Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini berorientasi untuk mengetahui kekuatan sambungan *lap joint* dengan proses *brazing* dengan cara variasi jarak (*gap*) sambungan.

1.2 Tujuan

1. Mengetahui komposisi kimia dari *filler* alusol tipe lembut dan filler lokal.
2. Mengetahui kekuatan tarik pada sambungan *lap joint*.
3. Pengamatan *struktur makro* untuk mengetahui seberapa banyak cacat yang terdapat pada permukaan patah sambungan.
4. Pengamatan *struktur mikro* untuk mengetahui seberapa dalam kapilaritas yang terjadi pada logam induk.

1.3 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan hasil uji geser tegangan maksimum *filler* perak lebih unggul dibandingkan *filler* kuningan. Data hasil uji geser tegangan maksimum terjadi pada daerah HAZ. Untuk *brazing filler* perak tegangan maksimum paling tinggi terjadi pada temperatur 300°C. Sedangkan tegangan maksimum *brazing filler* kuningan paling tinggi juga pada temperatur 300°C (Girmanta, 2004). Melakukan penelitian tentang pengaruh ketebalan logam pengisi

terhadap sifat-sifat mekanik dan struktur mikro sambungan *silver-brazing*. Penelitian ini menggunakan metode *brazing* dengan proses *furnace brazing*. Dari hasil penelitian kekuatan tarik geser sambungan paling tinggi diperoleh pada ketebalan 0,03 mm, semakin tebal logam pengisi kekuatan tarik geser akan semakin menurun. Tidak terjadi perubahan kekerasan yang signifikan baik pada logam induk, antar muka dan logam pengisi (Kusharjanto, 2004).

Sapetina Prian (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh jarak (*GAP*) terhadap kekuatan geser pada sambungan *torch brazing* dengan *filler* paduan perak. *Brazing* adalah suatu proses penyambungan dua atau lebih logam oleh logam pengisi dengan memanaskan daerah sambungan diatas 450°C (temperatur cair logam pengisi) tanpa mencairkan logam induknya. Dan menurut (Kusharjanto, 2009; Wirosumarto, 2000) *brazing* adalah proses penyambungan logam menggunakan logam ketiga yang tidak sejenis, misalnya dengan tembaga, kuningan atau perak untuk penyambungan baja. Bahan yang digunakan sebagai logam induk adalah C-Mn dan logam pengisi *brazing* adalah logam perak (Ag-40Cu-0,1ni-0,3 Ti). Proses *brazing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *torch brazing*. Kekuatan geser diuji sesuai dengan AWS C3.2:2001. Permukaan patah benda uji dianalisa dengan menggunakan foto makro dan mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan geser semakin meningkat dengan adanya variasi jarak (*GAP*) 0,1mm. Terjadinya reaksi penetrasi dan cacat sambungan mempengaruhi kekuatan geser. Reaksi penetrasi paling baik terjadi pada jarak (*GAP*) 0,1mm.

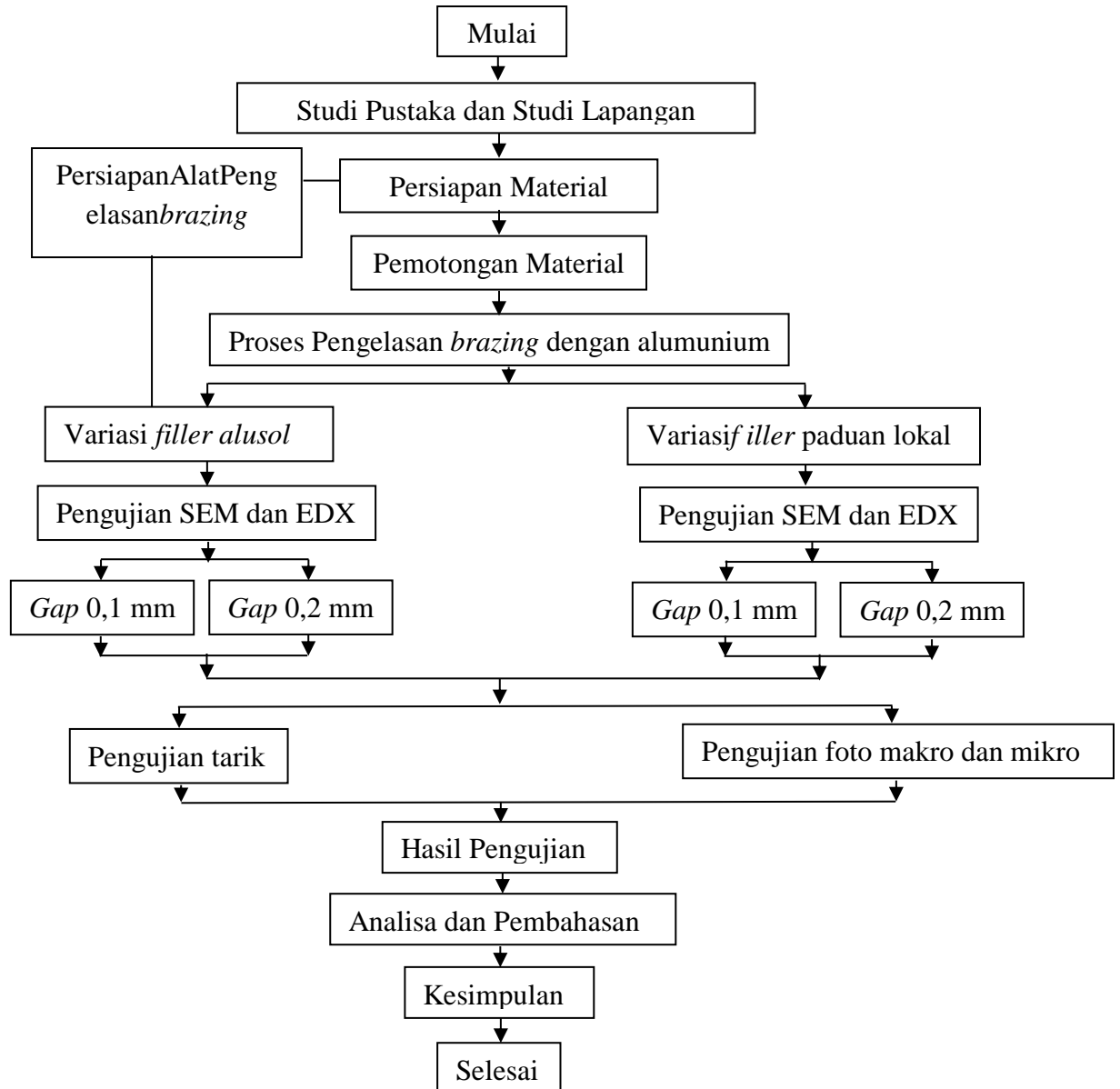
Agung Santoso (2017) melakukan penelitian tentang analisa kekuatan mekanik sambungan tipe simple lap joint antara aluminium tebal 2 mm dengan baja galvanis tebal 2 mm dengan metode *brazing*. Hasil penelitian menunjukkan tegangan-regangan dari ketiga spesimen didapat grafik yang tidak jauh berbeda. Tegangan-regangan rata-rata tertinggi dari ketiga spesimen yaitu 53.373 N/mm² pada regangan 8,399 %. Nilai kekerasan pada pengelasan antara material galvanis dan aluminium dengan metode pengelasan *brazing* memiliki nilai kekerasan yang berbeda antara metal galvanis dan metal aluminium. Pada base metal galvanis

memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi di bandingkan dengan kekerasan pada base metal aluminium. Dari setiap titik yang di uji, nilai kekerasan pada daerah HAZ pada setiap base metal memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi di banting nilai kekerasan pada base metal nya. Diantara daerah HAZ dari metal Galvanis dan Aluminium, daerah HAZ Galvanis yang mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi. Dari hasil foto makro, Filler autosol yang mencair cenderung masuk diantara base metal dikarenakan gaya kapilaritas. Hasil foto mikro, karena base metal aluminium dan baja galvanis tidak meleleh dan perubahan struktur mikro tidak jauh berbeda, dikarenakan panas yang dikenakan tidak sampai titik leleh base metal keduanya.

Endriansyah Zulfikri (2017) melakukan penelitian tentang analisa kekuatan mekanik dan struktur metalografi pada metode brazing antara aluminium dan besi dengan menggunakan filler alusol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kekuatan tarik raw material plat aluminium tebal 2 mm memiliki tegangan tarik tertinggi 112,53 N/mm² dan memiliki regangan tertinggi sebesar 3,58%. Kekuatan geser pada sambungan brazing antar plat aluminium tebal 2 mm dan besi tebal 1,6 mm dengan filler alusol memiliki tegangan tarik tertinggi sebesar 41,74 N/mm² dan regangan tertinggi memiliki nilai sebesar 8,5%. Struktur mikro pada sambungan brazing plat aluminium tebal 2 mm dengan besi tebal 1,6 mm mengalami perubahan besaran struktur. Daerah HAZ mengalami pembesaran butiran pada material aluminium akibat pengaruh panas. Sedangkan pada material besi mengalami pengecilan butir pada daerah HAZ karena diakibatkan oleh pengaruh panas. Hasil pengujian kekerasan pada sambungan brazing aluminium tebal 2 mm dengan besi tebal 1,6 mm menggunakan filler alusol mendapatkan kekerasan tertinggi dimiliki oleh daerah HAZ besi yaitu sebesar 171,8 Hv, sedangkan kekerasan terendah dimiliki oleh daerah HAZ aluminium yaitu sebesar 51,5 Hv.

2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat

Alat pengelasan : Gas Torch

Alat bantu : alat ukur, mesin potong, sarung tangan, amplas, penggaris

Alat pengujian : alat uji tarik geser, alat uji *sem* dan *edx*, mikroskop makro, dan mikroskop mikro.

2.3 Bahan

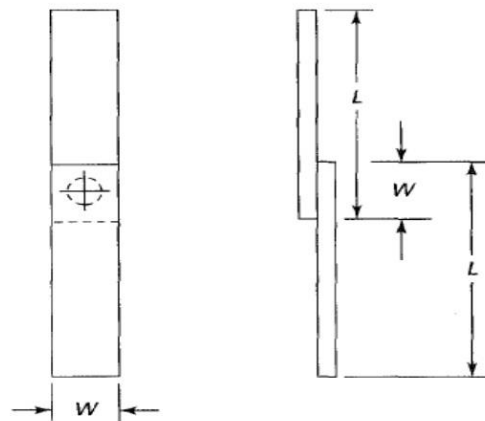
Bahan pnelitian : material plat *alumunium* seri 6061, *filler alusol*, dan *filler* lokal.

2.4 Langkah pengujian

Penelitian dilakukan dengan mnnggunakan penyambungan metode *brazing* dengan tipe sambungan *lap joint*. Spesimen disambung dengan menggunakan bahan pengisi (*filler*) *alusol* dan *filler* lokal.

a) Pemotongan spesimen

Pemotongan spesimen menggunakan standar ASME IX



	<i>Alumunium</i> (mm)	<i>Alumunium</i> (mm)
L	85	85
W	20	20

Gambar 2 ukuran standar ASME IX QW 462.9

b) Pengujian tarik

Pengujian tarik geser memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar tegangan geser maksimal yang terdapat pada sambungan las.

c) Pengujian *sem* dan *edx*

Pengujian ini untuk mengetahui detail permukaan dan untuk mengetahui komposisi unsur dari material.

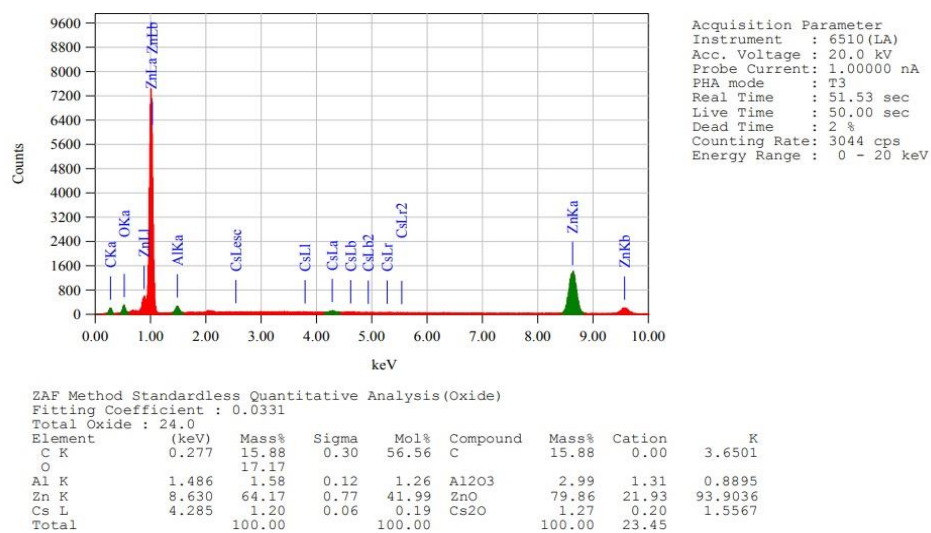
d) Pengujian metalografi

Pengujian metalografi dimanfaatkan untuk pengamatan struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop. Perbesaran yang dipilih untuk foto makro adalah 25 X, sedangkan untuk foto mikro yaitu 100 X dan 200 X perbesaran.

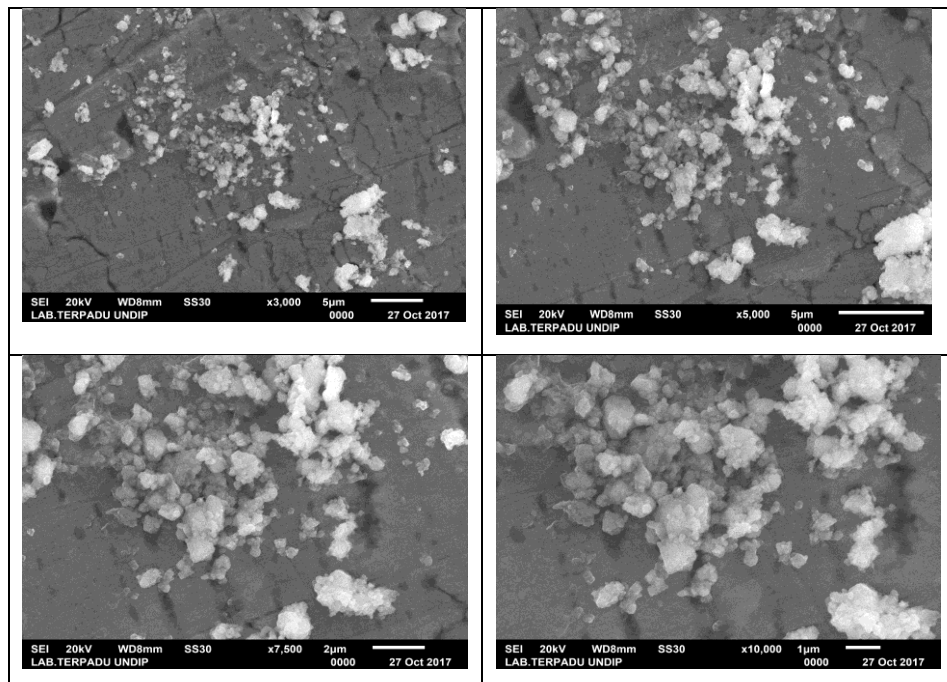
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian *SEM* dan *EDX Filler Alusol* tipe lembut

Hasil uji SEM dan EDX pada filler alusol tipe lembut prosentase kandungan unsur yang terdapat pada filler alusol tipe lembut yaitu : Karbon (C) 26,02%, Alumina (Al_2O_3) 4,51%, Zink Oksida (ZnO) 68,07%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,40%.



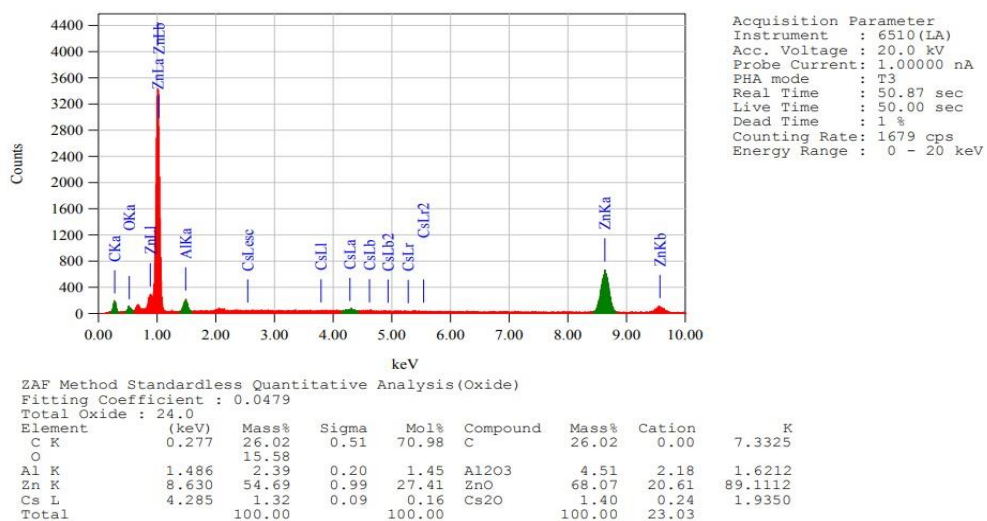
Gambar 3 uji *edx filler alusol* tipe lembut



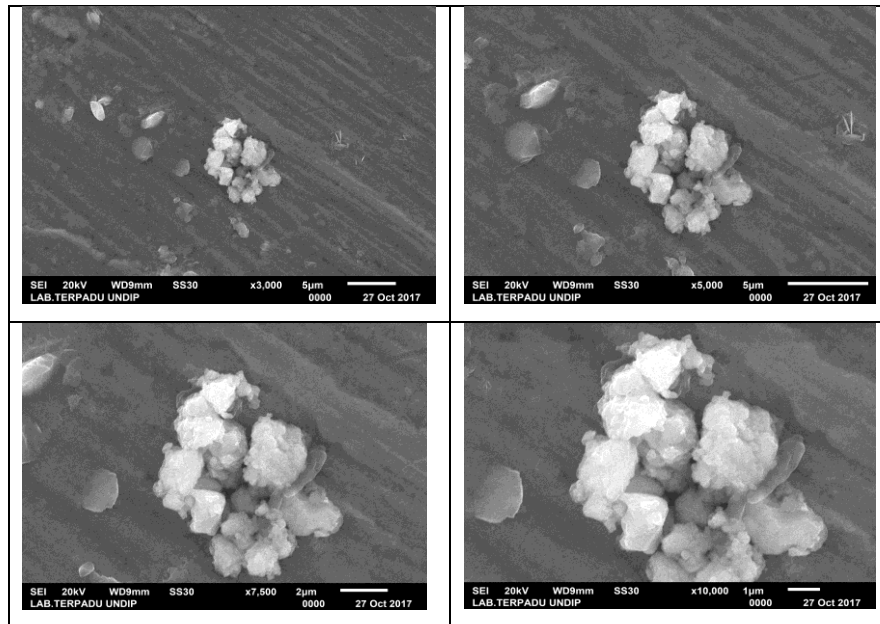
Gambar 4 *sem filler alusol tipe lembut*

3.2 Hasil Pengujian SEM dan EDX Material *fluks*

Hasil uji SEM dan EDX pada filler alusol tipe lembut prosentase kandungan unsur yang terdapat pada filler alusol tipe lembut yaitu : Karbon (C) 15,88%, Alumina (Al_2O_3) 2,99%, Zink Oksida (ZnO) 79,86%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,27%.



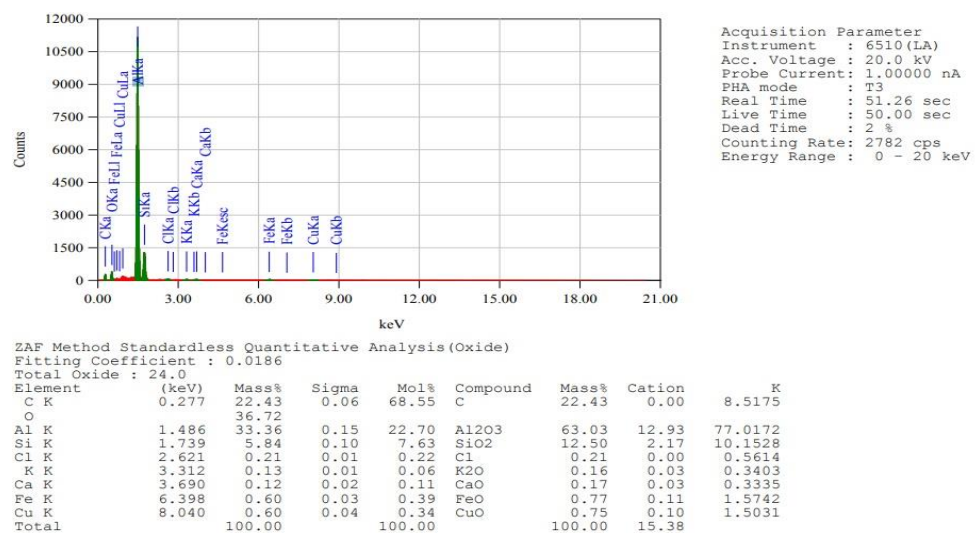
Gambar 5 uji *edx* material *fluks*



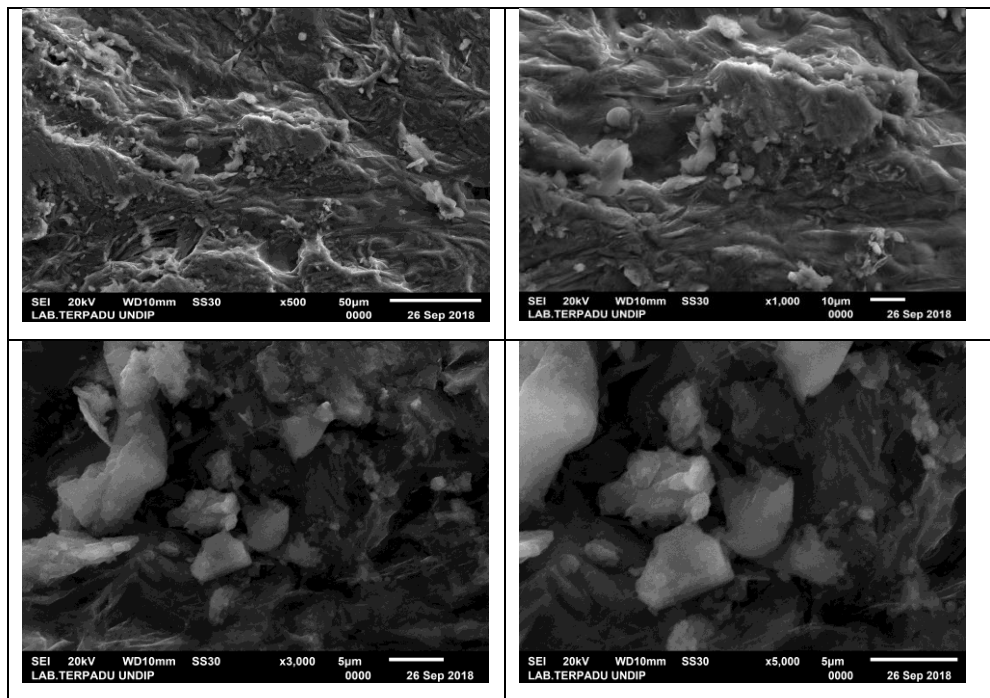
Gambar 6 sem material *fluks*

3.3 Hasil Pengujian SEM dan EDX *Filler Lokal*

Hasil uji SEM dan EDX pada filler lokal prosentase kandungan unsur yang terdapat pada filler lokal yaitu : Karbon (C) 22,43%, Alumina (Al_2O_3) 63,03%, Silika Oksida (SiO_2) 12,50%, Klorida (Cl) 0,21%, Kalium Oksida (K_2O) 0,16%, Kalsium Oksida (Cao) 0,17%, Besi (II) Oksida (FeO) 0,77%, dan Tembaga (II) Oksida (CuO) 0,75%.



Gambar 7 uji *edx filler lokal*



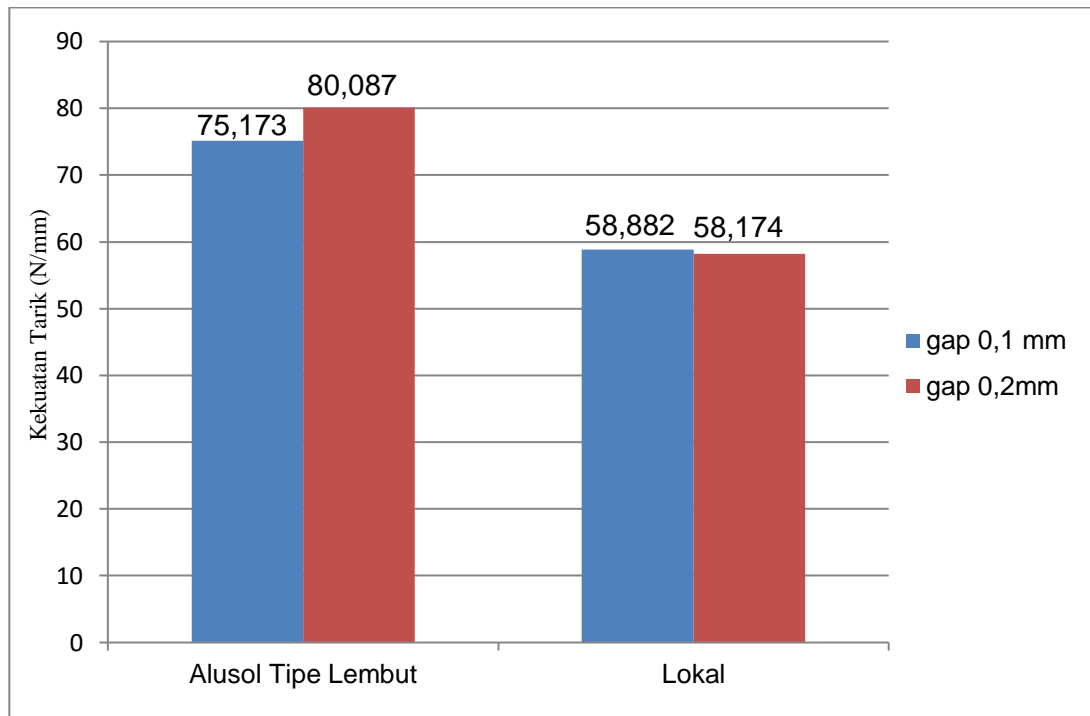
Gambar 8 *sem filler lokal*

3.4 Pengujian Tegangan Tarik

Pada tabel 1 dibawah ini menunjukkan hasil pengujian tarik dari hasil pengelasan brazing dengan sambungan lap joint antara material alumunium dengan alumunium.

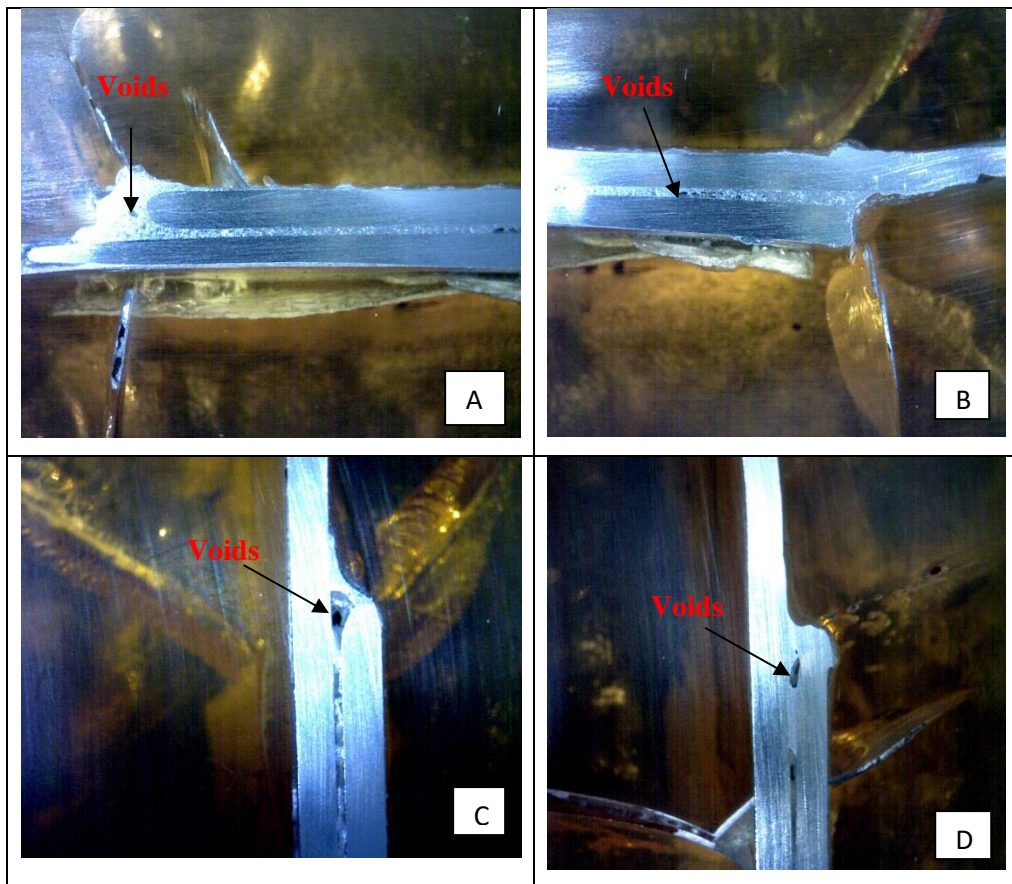
Tabel 1 Hasil pengujian tarik pengelasan brazing dengan sambungan lap joint.

Bahan Filler	Kekuatan Tarik Untuk Jarak 0,1 Mm (N/Mm)	Kekuatan Tarik Untuk Jarak 0,2 Mm (N/Mm)
Alusol Tipe Lembut	75,173	80,087
Lokal	58,882	58,174



Gambar 9 Grafik Hubungan Jarak (*Gap*) Terhadap Kekuatan Tarik.

Dari grafik diatas pengujian tarik mendapatkan hasil yang berbeda – beda dimana kekuatan tarik yang paling besar ditunjukkan pada material filler alusol tipe lembut dengan jarak 0.2 mm dengan nilai 80,087 N/mm dan nilai kekuatan tarik yang terendah ditunjukkan pada material filler lokal dengan jarak 0.2 mm dengan nilai 58,174 N/mm. Untuk mengetahui lebih jauh yang terjadi pada bidang yang di *brazing* maka dilakukan foto makro dan mikro seperi yang terlihat pada gambar 10.

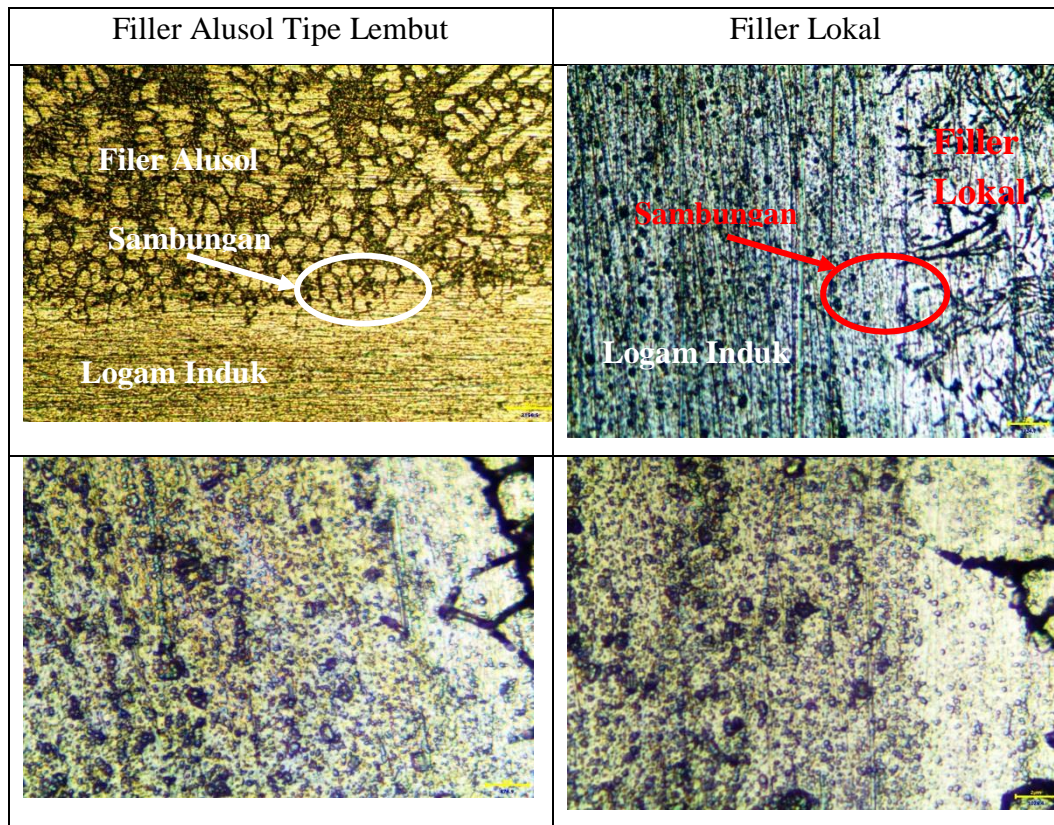


Gambar 10 foto makro pada permukaan : (A) *alusol* tipe lembut *gap* 0,1 mm; (B) *alusol* tipe lembut *gap* 0,2 mm; (C) filler lokal *gap* 0,2 mm; (D) filler lokal *gap* 0,1 mm.

Pengamatan permukaan ditemukan adanya void. Void terbentuk pada saat proses brazing berlangsung. Penyebab munculnya void ada dua yaitu : (1) pada saat filler mencair, ada udara yang terjebak didalamnya sehingga ketika proses pendinginan berlangsung terdapat lubang-lubang halus. (2) adanya reaksi antara oksigen yang ada pada logam paduan dengan hidrogen dari atmosfer sehingga terbentuk uap air yang akan membentuk void (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000).

Dengan adanya cacat maka filler tidak mempunyai ikatan dengan logam induk karena filler tidak menempel pada logam induk. Cacat berpengaruh terhadap kekuatan tarik, semakin sedikit cacat semakin besar kekuatan tarik

begitu sebaliknya semakin banyak cacat yang terjadi akan mengurangi kekuatan tariknya.



Gambar 11 logam induk spesimen

Daerah logam las pada sambungan *aluminium* dengan *aluminium* menggunakan *filler* alusol tipe lembut pada gambar menempel dengan sempurna. Hal ini dikarenakan besar kapilaritas material alusol tipe lembut yang tinggi berbeda dengan filler lokal yang kapilaritasnya rendah.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil uji komposisi yang dilakukan material filler alusol tipe lembut mengandung beberapa komposisi yaitu Karbon (C) 26,02%, Alumina (Al_2O_3) 4,51%, Zink Oksida (ZnO) 68,07%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,40%.

Untuk filler alusol tipe lembut (fluks) mengandung beberapa komposisi yaitu Karbon (C) 15,88%, Alumina (Al_2O_3) 2,99%, Zink Oksida (ZnO) 79,86%, dan Cesium Oksida (Cs_2O) 1,27%. Sedangkan untuk material filler lokal mengandung komposisi Karbon (C) 22,43%, Alumina (Al_2O_3) 63,03%, Silika Oksida (SiO_2) 12,50%, Klorida (Cl) 0,21%, Kalium Oksida (K_2O) 0,16%, Kalsium Oksida (CaO) 0,17%, Besi (II) Oksida (FeO) 0,77%, dan Tembaga (II) Oksida (CuO) 0,75%.

2. Pada pengujian tarik kekuatan tertinggi pada filler alusol tipe lembut dengan *gap* 0,2 mm dengan nilai 80,087 N/mm dan kekuatan tarik terendah pada filler lokal dengan *gap* 0,2 mm dengan nilai 58,174 N/mm.

3. Pada hasil foto makro yang didapat pada sambungan aluminium daerah las adanya cacat las (*voids*) yang diakibatkan pada saat filler mencair, ada udara yang terjebak didalamnya sehingga ketika proses pendinginan berlangsung terdapat lubang-lubang halus. adanya reaksi antara oksigen yang ada pada logam paduan dengan hidrogen dari atmosfer sehingga terbentuk uap air yang akan membentuk void.

4. Hasil pengujian mikro pada daerah sambungan lap joint Adanya variasi jarak (*gap*) mempengaruhi dalamnya kapilaritas. Reaksi kapilaritas paling baik terjadi pada *gap* 0,2 mm dengan filler alusol tipe lembut karena daya kapilaritas alusol tipe lembut tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Agung Santoso, 2017, *Analisa Kekuatan Mekanis Sambungan Tipe Simple Lap Joint antara aluminium Tebal 2mm dengan Baja Galvanis Tebal 2mm dengan Metode brazing*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

ASM Handbook Vol 6. Pdf, 1993, *Welding Brazing and Solering*, ASM Handbook Commite, United State.

ASTM Handbook Vol 9. Pdf 1998, *Metallography and Microstructures*, ASM Handbook Commite, Unitetd State.

- Endriansyah Zulfikri, 2017, *Analisa Kekuatan Mekanik Dan Struktur Metologi Pada Metode Brazing Antara Aluminium Dan Besi Dengan Menggunakan Filler Alusol*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Girmanta J. 2004, *Pengaruh Filler dan Temperatur Uji Terhadap Karakteristik Sistem Sambungan Brazing Baja Karbon Rendah*. Skripsi S1 Teknik Mesin FT. UNS. Surakarta.
- Kusharjanto, 2004, *Jurnal Pengaruh Ketebalan Logam Pengisi Terhadap Sifat Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Silver-brazing*.
- Roni Hidayat, 2017, *Analisa Kekuatan Tarik Sambungan Tipe Simple Lap Joint Plat Almunium Tebal 2 Mm Dengan Metode Brazing*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sapetina Prian, 2010, *Pengaruh Jarak (Gap) Terhadap Kekuatan Geser Pada Sambungan Torch Brazing*. Skripsi S1 Teknik Mesin FT. UNS. Surakarta.
- Wiryosumarto, H. Dan T. Okumura, 2000, *Teknologi Pengelasan Logam, cetakan kedelapan pradya pramita, jakarta*.